

## 数値解析に基づく海域構造物のマウンド被覆材の設計法に関する研究

著者	松本 朗
号	56
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工博第4669号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/62038">http://hdl.handle.net/10097/62038</a>

氏 名	まつもと あきら
授 与 学 位	松本 朗
学位授与年月日	博士（工学）
学位授与の根拠法規	平成24年3月27日
研究科，専攻の名称	学位規則第4条第1項
学 位 論 文 題 目	東北大学大学院工学研究科（博士課程）土木工学専攻
指 導 教 員	数値解析に基づく海域構造物のマウンド被覆材の設計法に 関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 真野 明
	主査 東北大学教授 真野 明 東北大学教授 田中 仁 東北大学准教授 有働 恵子

## 論文内容要旨

本研究では，海域構造物のマウンド被覆材の設計法に関して，主として水理模型実験と数値シミュレーションの結果に基づいて検討した．以下に要旨を示す．

**第1章「序論」**では，数値解析に基づく海域構造物のマウンド被覆材の設計法に関する研究の背景を述べ，本研究の目的を示した．港湾・漁港および海岸の代表的な保全施設である混成防波堤・人工リーフが波浪に対して安定を保ちその機能を発揮するためには，基礎マウンドの安定性を確保する必要があり，被覆材の質量を合理的に定めることが重要である．現行の設計法では，その所要質量はハドソン式（Hudson, 1959）に安定数  $N_s$  を適用して算定されている．このハドソン式は実用的であり多くの施工事例により実務における妥当性が確認されているが，精度など問題点も指摘されている．これらを背景に数値計算による流速場を利用して，混成防波堤および人工リーフのマウンド被覆材の普遍的な質量算定方法を確立することを目的として研究を行った．この新しい設計法の妥当性を検証するために，混成防波堤の被覆石や人工リーフの被覆ブロックの耐波安定性に関する模型実験結果と，数値波動水路による流速場や作用波力からシミュレートされる耐波安定性を比較し，新しい設計法の適用性について検討した．

**第2章「既往の研究」**では，防波堤マウンド被覆材および人工リーフ被覆材の耐波安定性，ならびに流れに対する被覆材の安定性に関する既往の研究例について述べた．防波堤，人工リーフともに被覆材の安定性を表現する実験定数は模型実験により定められている．流れに対する被覆材の安定性に関する検討は，津波防波堤に関する実験的な検討，防波堤のマウンド被覆材に関する実験および数値計算による検討例が見られた．防波堤のマウンド被覆材に関する数値計算による検討は個別の条件下での被覆材の挙動を論じており，一般的な設計手法の提案までは至っていないことを示した．

### 第3章「流速場に基づく防波堤マウンド被覆石の耐波設計法」

では、混成堤マウンド被覆石を対象に、数値計算による流速場に基づく質量算定法を提案した。その妥当性を規則波による水理模型実験と数値波動水路による流速場の再現計算との比較によって示した。

実験は長さ 29.0m、幅 0.5m、高さ 1.0m の二次元造波水路を用いて行った。図-1 は、模型堤体を示すものであり、基礎捨石マウンド上に木製ケーソンを設置している。マウンド被覆石は平均的な層厚 4.0cm で 2 層被覆とした。模型堤体は矩形ケーソンを基本とし、比較のために越波を許さない高天端ケーソンおよび、反射波を低減できるスリットケーソン模型も用いた。

入射波高とマウンド全体の被覆石に対する被害率との関係を図-2 に示す。波高とともに被害率が大きくなっているが、周期の影響が明瞭に認められ、短周期の波ほど同一の波高に対して大きな被害率を与えることがわかる。これは、短周期の波ほど重複波の節の位置がマウンドの法肩に近づくためである。

また、同一周期の波に対しては、高天端で非越波とした場合の方が同一の波高に対する被害率が大きく被害の進行も著しい。

さらに、スリットケーソンでは、通常の矩形ケーソンに比べて被害が著しく小さい。これは、反射波の低減によりマウンド近傍流速が減少するためであると考えられる。

図-3 は流速場の違いを確認するために、入射波高と法肩の冲向き水平流速との関係を調べたものである。波高を一定とすると、法肩における冲向き水平流速は短周期の波ほど大きいこと、同一の波高、周期の波が作用した場合には天端高が高いほど流速が大きくなること、スリットケーソンとした場合には流速が低減することが測定値から確認された。

図-4 は法肩の冲向き水平流速と被害率の関係を検討したものであり、イスバッシュ数と被害率の関係としてまとめている。波の条件やケーソンの条件にかかわらず、被害率はイスバッシュ数の関数としてほぼ 1 本の線でもまとまっている。これは、流速場に基づく被覆材設計法の基本的な考え方の妥当性を示すものである。

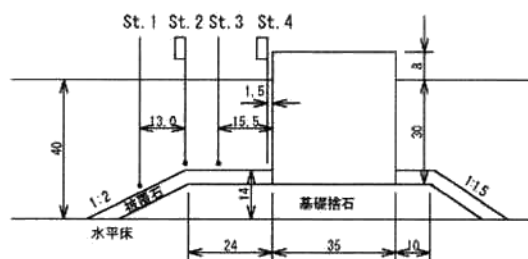


図-1 防波堤断面図 (単位: cm)

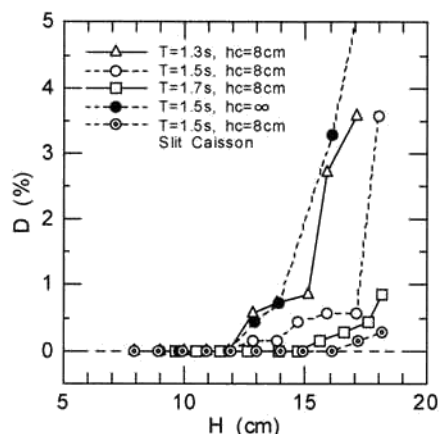


図-2 入射波高と被害率の関係

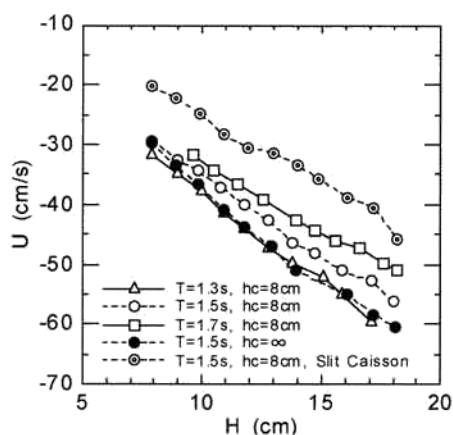


図-3 入射波高と法肩の冲向流速の関係

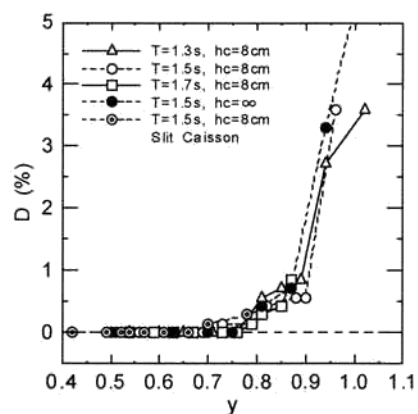


図-4 イスバッシュ数と被害率の関係

次に、具体的な被害の場所や被害率あるいはその進展について明確にするためのシミュレーションモデルを開発した。被覆石の質量や安定性の変動を考慮した確率分布を用いて、モンテカルロ法によって被害の進行を予測している。パラメータの同定を行い、場所ごとの被覆石の移動限界イスバッシュ数の補正や、被害の進行のモデル化に用いる最適な定数を決定した。水理模型実験結果との比較から、提案したシミュレーション手法の妥当性を検証した。

図-5 は、通常の高天端高さの矩形ケーソンについて、実験と計算による被災度を比較したものである。 $H=16, 17\text{cm}$  の条件で計算結果が実験結果を上回っているが、実験結果自体もばらつきを有しており、全体的に見れば計算結果は実験結果をよく再現している。

図-6 は堤体の条件を変えた場合の結果である。越波を許す普通ケーソン（直立壁）の場合に比べ、越波を許さない高天端の場合では、実験結果は流速が大きく被災度も高い。こうした傾向は計算値でもよく再現されている。特に波高を増加させて  $H=16\text{cm}$  とした時の急激な被害の進行がよく再現されている。

また同図のスリットケーソンに対しても実験結果の再現性は良好であり、反射波の低減にともなうマウンド近傍流速の減少に対応して著しく小さな被災度となっている。このように提案した計算モデルは、波の継続による被害の進行などの複雑なプロセスを取り扱うことのできる実用性のある手法であることを示した。

第4章「作用波力に基づく人工リーフ被覆ブロックの耐波設計法」では、はじめに安定性・経済性に優れた被覆ブロックを開発した。次に、開発した薄型孔あきブロックを例として人工リーフ被覆ブロックの初期移動の予測手法を提案した。

図-7 にタイプ 2, 3 の方塊に作用する鉛直上向波力をタイプ 1 の値で除した無次元波力を示す。鉛直波力が単純に投影面積の減少分だけ小さくなるのであれば、タイプ 2, 3 の無次元波力の値は 1.0 となる。図から開口率 10%と 20%の比較におい

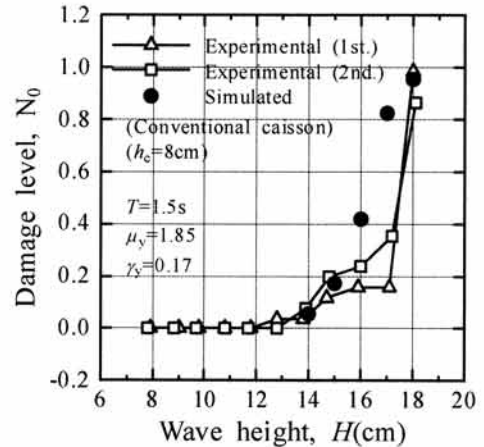


図-5 実験と計算による被災度（矩形ケーソン）

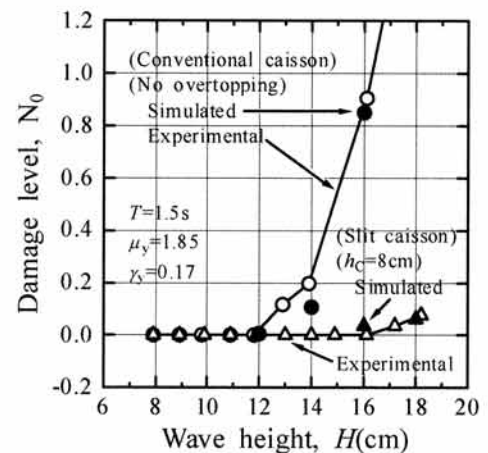


図-6 実験と計算による被災度  
（高天端ケーソンとスリットケーソン）

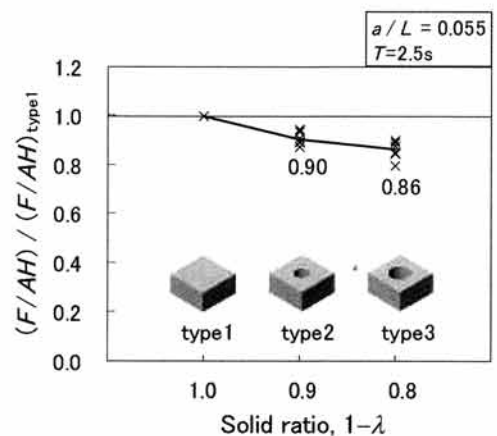


図-7 鉛直波力に及ぼす開口率の影響

て、開口率の増大による自重の減少を考慮しても、開口率が大きい方が安定上有利であると判断された。図示しないが、鉛直波力に及ぼす孔の個数の影響の検討結果から、孔を設ける場合には、現実的に被覆ブロックに設けることができる程度の孔の数であれば、孔を分散して配置する方が安定上有利であると判断された。以上の検討結果を元に被覆ブロックの形状を決定し、人工リーフを対象とした波力実験および安定実験を実施した。

次にこの薄型孔あき被覆ブロックを例として初期移動の予測手法を提案した。モリソン式で作用波力を求め、自重による抵抗力との比較によりブロックの安定性を判定した。

図-8 に算定された波力と抵抗力の比率の  $1/10$  最大値の空間分布の例を示す。この値が  $1.0$  を越えるとブロックが滑動すると判断する。図示した天端水深  $R=10\text{cm}$  のケースでは、有義波高  $H_s=13.9\text{cm}$  と  $14.6\text{cm}$  の間で被災すると予測される。

図-9 は実験と計算による限界安定数  $N_s$  の存在範囲を示したものである。被害が生じなかった最大の安定数と被害が生

じた最小の安定数を線で結んで表示している。計算による限界安定数は、 $R=4, 7, 10\text{cm}$  のケースでは実験の傾向をよく再現している。しかしながら、 $R=2\text{cm}$  のケースでは安定性が過小評価されている。このケースでは人工リーフの法肩付近が干出した直後に衝撃的な波力が算定されていた。加速度の時系列を積分して、ブロックの移動距離を計算したところ、作用波力のピーク値が同一であっても  $R=2\text{cm}$  のケースは  $R=10\text{cm}$  のケースに比べて滑動量がかなり小さく、実験で検出されない程度であることがわかった。すなわち、波力が大きくても継続時間が短い場合は、実質的な滑動に寄与しない場合があるものと考えられる。

第5章「結論および今後の課題」では、以上の検討を踏まえ、結論を示すとともに、今後の課題並びに展望をまとめた。本研究では、数値解析による流れ場に基づく、混成防波堤マウンド被覆石と人工リーフ被覆ブロックの耐波安定性の評価手法を提案し、その妥当性を示した。本研究で提案した耐波安定性の評価手法は、海域構造物の設計の高度化・効率化に寄与できる。水理模型実験などの費用が低減できるだけでなく、より詳細なデータの解析によって現象の把握が進み、設計の改良が進むと期待される。また、模型実験に比べ、さまざまなケースでより多くの検討が可能となることから、防波堤や人工リーフの破壊確率や変形の程度を考慮した性能照査型の設計のためのツールとしても期待される。

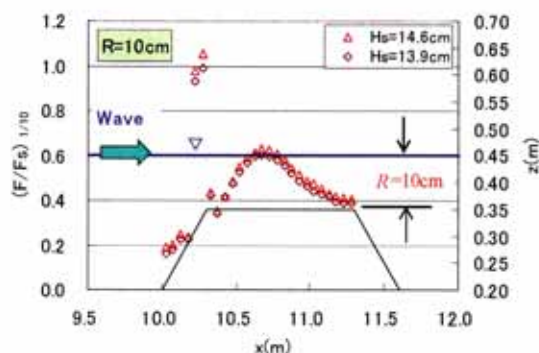


図-8 波力と抵抗力の比率の  $1/10$  最大値の空間分布

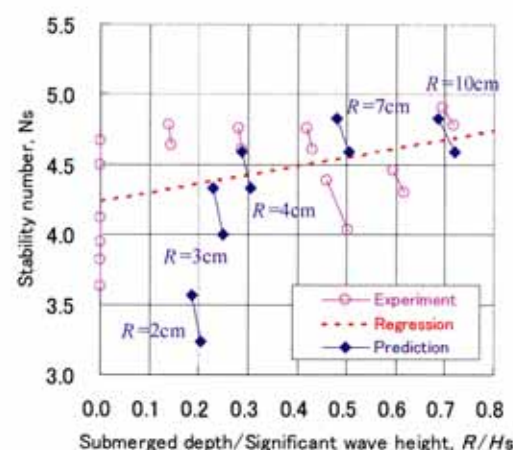


図-9 実験と計算による限界安定数の存在範囲



# 論文審査結果の要旨

港湾や漁港において、静穏な海域を確保するため防波堤の建設が欠かせない。また、海岸においては侵食や越波を防止するための構造物が設置されるが、景観に配慮して水面下に構造物を配置する人工リーフが増えてきている。本研究は、これらに共通する基礎マウンドの安定性を確保するため、被覆材の所要質量を算定する普遍的な評価方法を確立することを、研究目的とするものである。

第1章は、研究背景、目的について述べている。

第2章は、文献調査である。従来設計対象地点の波高を用いて被覆材の所要重量を算定する Hudson 公式が多く用いられていたが、波高は被覆材を移動させる外力を算出するパラメータではないので、防波堤の形式ごとに水理実験を行う必要があり、時間、労力、費用がかかるという問題点を指摘した。一方、純2次元あるいは純3次元の数値解析を行い、対象地点の流速を得ることができれば、被覆材に働く外力を直接算定でき、普遍的で高精度な設計法が可能になることを見出した。これは、本研究を進める重要な枠組みを整理したものである。

第3章は、防波堤マウンド被覆石の耐波設計法について述べている。混成防波堤に作用する波浪の流動場を、数値波動水槽 (CADMAS-SURF) により求め、被覆石上面の流速を用いて CERC 公式により被覆石の初期移動やその後の被害の拡大を予測する手法を開発した。水理実験結果との比較より、予測結果の再現性を検証し、種々の形式の混成防波堤に適用できる精度の高い予測手法であることを明らかにした。これは、従来の設計法を抜本的に変える画期的な技術開発である。

第4章は、人工リーフ被覆ブロックの初期移動の予測手法について述べている。ここでは最初に、軽量で安定性の高い被覆ブロックの開発について説明している。被覆ブロックに穴を最適に配置することにより、揚力を低減し、従来の製品より質量を25%軽減する新型ブロックを開発した。次に、このブロックで人工リーフを被覆した場合の安定性を、モリソン式を用いて予測する手法を開発した。水理実験を行なって検証を行い、潜水深の広い範囲で初期移動が予測可能であることを明らかにした。これは、被覆ブロックの所要質量を評価する画期的な技術開発である。

第5章は、結論である。

以上本研究は、堤防マウンドの被覆材の所要質量を数値解析に基づいて算出する普遍的な評価方法を確立したもので、海岸工学の発展に大きく寄与している。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。